

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

特集：最近のユニークな光学素子

偏光性ホログラム光学素子

日本電気株式会社 光エレクトロニクス研究所*

小野 雄三

1. はじめに

ホログラム光学素子は複数の光学機能を1枚の素子に複合できる特長がある^{1,2)}。ホログラムは回折形の光学素子であるから、回折形の偏光素子を構成できれば、ホログラム光学素子に偏光特性を付与でき、ホログラム光学素子の機能性をさらに向上させることができる。また一方では、光アイソレーターや光ディスクヘッドに用いられる偏光素子の小形・軽量・低価格の要請がある。このような目的から著者らはブレーナバッチプロセスで量産可能な回折形の偏光素子を提案して、開発してきた³⁻¹⁰⁾。

本稿では、回折現象を利用した偏光素子の原理、LiNbO₃に形成した素子、構造複屈折を用いた素子と共に、さらにホログラム光学素子に発展させた素子についても述べる。

2. 複屈折回折格子形偏光素子の原理

矩形断面構造をもつ薄い位相格子の0次回折効率、すなわち透過率は次式で表される。

$$\eta_0 = \cos^2(\gamma/2) \quad (1)$$

γ は格子を形成する2つの領域を透過する光の位相差である。偏光素子として直交する2つの偏光に対して透過率をおのおの0および1にするためには、複屈折媒質に格子を形成することによって、直交する2つの偏光に対して位相差 γ がおのおの π と0になるようにすればよい。これが本素

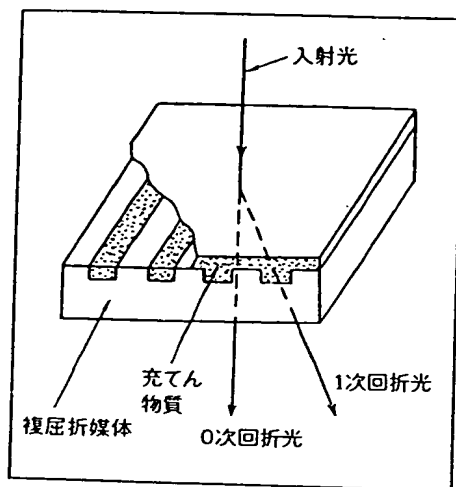


図1 複屈折回折格子の基本構成

子の基本原理である。このような位相条件の格子はもっとも簡単には、図1に示す構造で得られる。すなわち、格子溝に平行および垂直な偏光面をもつ偏光に対する屈折率がおのおの n_1 および n_2 の複屈折結晶に深さ t の格子を形成し、溝を屈折率 n_0 の物質で充てんしたものである。格子溝に平行な偏光は格子部で位相差を生じず透過率は1となる。一方、格子溝に直交する偏光は、 $\gamma = 2\pi(n_1 - n_2)t/\lambda$ となる位相差を生じるので $\gamma = \pi$ となるように深さ t を設定することで透過率は0となる。以下では実際の材料や製作プロセスを考慮して、2つの構成について述べる。

3. LiNbO₃にプロトン交換で製作した素子³⁻⁶⁾

3.1 構造と動作原理

図2に構造を示す。格子はLiNbO₃基板にプロトン交換法で形成されている。プロトン交換領域

*〒216 神奈川県川崎市宮前区宮崎4-1-1
8044-856-2106

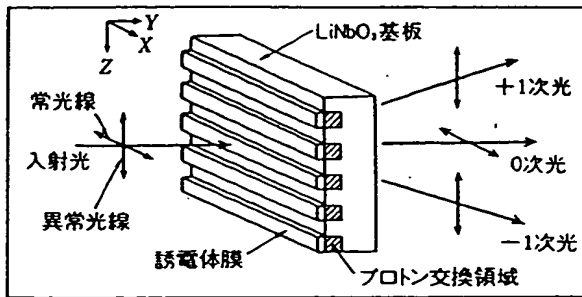


図2 複屈折回折格子形偏光子の基本構造

表1 複屈折回折格子形偏光子の動作原理

偏光	空間的位相変化	出射光
常光線	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>位相変化</p> <p>+</p> <p>0</p> <p>-</p> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <p>誘電体膜</p> <p>プロトン交換領域</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Z</p> </div> </div>	回折なし
異常光線	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>位相変化</p> <p>+</p> <p>0</p> <p>-</p> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <p>誘電体膜</p> <p>プロトン交換領域</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Z</p> </div> </div>	すべて回折

では、波長 $1.3\mu\text{m}$ の異常光線に対して屈折率が約0.09増加する一方、常光線に対しては約0.04減少する。そこで、常光線を透過させ、異常光線だけを回折させるために、プロトン交換領域で常光線に対して生じる位相差をプロトン交換領域の上につけた誘電体膜で相殺する構成としている。表1に位相関係を示す。

3.2 高消光比化

本偏光子をレーザーダイオードと組み合わせて用いる場合、LD光源の波長のばらつきや変動をカバーできる程度の広い波長範囲で高い消光比が必要になる。図3に波長 $1.3\mu\text{m}$ 用に設計した素子の消光比の波長特性の計算値を示す。基板の片面に格子を形成した場合を破線で、基板両面に互いに格子が直交するように格子を形成した場合を実線で示す。基板両面に素子を形成することで、波長 $1.22\sim 1.38\mu\text{m}$ の間で40dB以上の消光比が得られ光アイソレーターなどに十分適用可能である。

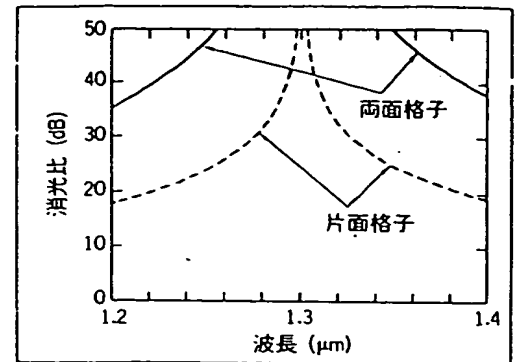


図3 消光比の波長特性（波長 $1.3\mu\text{m}$ 用）

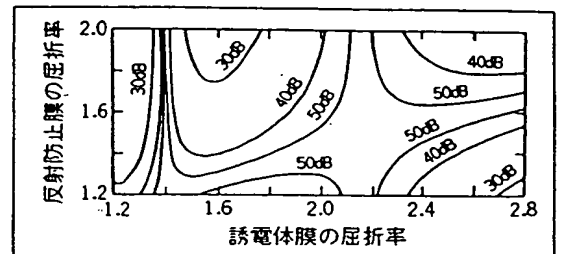


図4 消光比の誘電体膜および反射防止膜の屈折率依存性

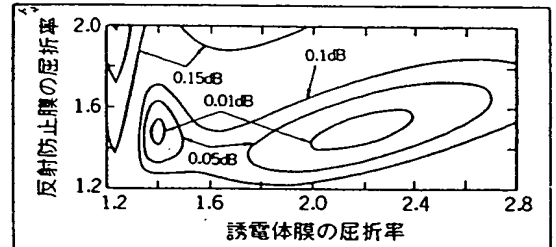


図5 挿入損の誘電体膜および反射防止膜の屈折率依存性

3.3 低挿入損失化

フレネル反射損を低減するために反射防止膜の装荷が必要である。しかしながら、本素子の表面には LiNbO_3 の部分と誘電体膜がコートされた部分とがある。このため、この2つの物質の界面での多重反射も考慮して、誘電体膜と反射防止膜の屈折率を最適化する必要がある。図4および図5に誘電体膜と反射防止膜の屈折率に対する本素子（片面構成）の消光比および挿入損失の計算値を等高線で示す。両図より、誘電体膜の屈折率を2.2、反射防止膜の屈折率を1.5程度にすることにより、消光比50dB以上、挿入損失0.01dB以下が実現できる。以上の検討から、誘電体膜としては Nb_2O_5 （屈折率2.2）を、反射防止膜としては

特集：最近のユニークな光学素子

図6 構造複屈折を用いた偏光子の基本構成

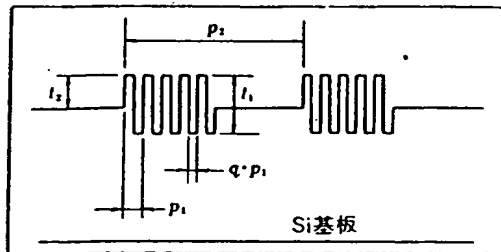
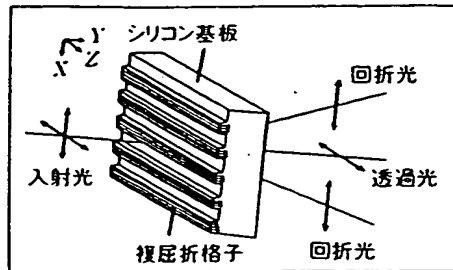


図7 構造複屈折を用いた偏光子の断面構造

SiO₂ (屈折率 1.45) を用いた。

3.4 偏光子の試作

以下の手順で格子を二重化した素子を製作した。

- ① Y 板 LiNbO₃ 基板の両面に一様に Ti 拡散層を形成。
- ② 基板両面に周期的にプロトン交換を施した格子を形成。
- ③ プロトン交換領域上に Nb₂O₅ 膜を形成
- ④ 基板両面に SiO₂ 膜を形成。消光比 48.2dB, 挿入損失 0.14dB が得られた。波長特性もほぼ計算に一致した。

4. 構造複屈折を利用した素子⁷⁾

4.1 構造と動作原理

周期が入射光波長の 1/2 以下の稠密な周期構造は、回折光を生じず複屈折性を示す。このような成因の複屈折は構造複屈折と呼ばれている。複屈折結晶を用いる代わりにこの構造複屈折を用いることでも回折格子形の偏光子を構成できる。素子の構成を図6に、断面構造を図7に示す。周期を p_1 とする稠密周期構造部分と深さ t_2 の溝部分とで周期 p_1 の回折格子が形成されている。稠密周期構造部分の屈折率は、稠密周期構造部分の溝に平行および直交する偏光に対しておのおの次式で与えられる⁸⁾。

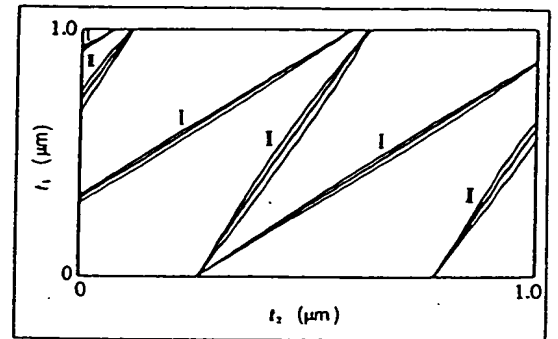


図8 消光比の稠密周期構造深さ (t_1) および回折格子深さ (t_2) 依存性

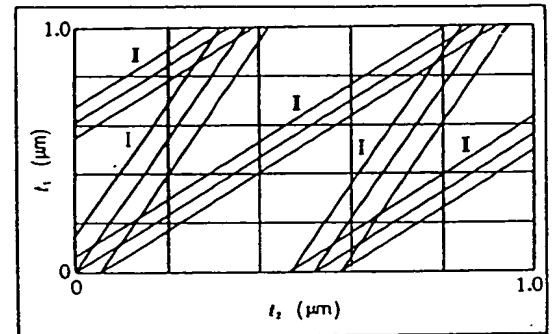


図9 透過率の稠密周期構造深さ (t_1) および回折格子深さ (t_2) 依存性

$$n_1 = [n_1^2 q + n_2^2 (1 - q)]^{1/2} \quad (2)$$

$$n_2 = [(1/n_1^2) q + (1/n_2^2) (1 - q)]^{-1/2} \quad (3)$$

n_1, n_2 はおのおの空気および基板の屈折率である。図7の素子での位相差は、稠密周期構造部分の溝に平行および直交する偏光に対しておのおの次式で計算される。

$$\gamma_1 = 2\pi/\lambda [n_1 t_1 - (t_1 - t_2) n_2 - t_2 n_1] \quad (4)$$

$$\gamma_2 = 2\pi/\lambda [n_1 t_1 - (t_1 - t_2) n_2 - t_2 n_1] \quad (5)$$

偏光子として作用するのは2つのタイプがある。すなわち、 $(\gamma_1, \gamma_2) = (\pi, 0)$: タイプⅠ, および、 $(\gamma_1, \gamma_2) = (0, \pi)$: タイプⅡである。

4.2 設計例

材料としては波長 $1.3\mu\text{m}$ で透明で屈折率の高い (約 3.5) シリコンを仮定した。図8には、消光比を t_1 および t_2 の関数として示す。外側の2本の線で囲まれた内側が消光比が 20dB 以上の領域である。図9には、透過率を t_1 および t_2 の関数として示す。外側の2本の線で囲まれた内側が透過率が 90% 以上の領域である。20dB 以上の消

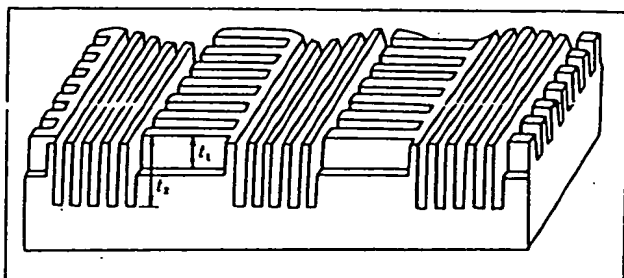


図10 2つの稠密周期構造で回折格子を構成した格子偏光素子

光比と90%以上の透過率をもっとも浅い溝加工で実現できるのはタイプIで、 $t_1=0.535\mu\text{m}$ 、 $t_2=0.197\mu\text{m}$ の場合である。20dB以上の消光比を得るための深さの精度は約 $\pm 8\%$ である。

4.3 溝加工を浅くするための設計

図7の回折格子の溝部分へも直交する稠密周期構造を導入することで、偏光による位相差変化を大きくできるので、稠密格子の溝を浅くできる。図10に示す構造の素子での位相差は、次式で計算される。

$$\gamma_1 = 2\pi/\lambda [n_1 t_1 + (t_2 - t_1)n_2 - t_2 n_1] \quad (6)$$

$$\gamma_2 = 2\pi/\lambda [n_1 t_1 + (t_2 - t_1)n_2 - t_2 n_1] \quad (7)$$

もっとも浅い溝で実現できるのは $t_1=0.162\mu\text{m}$ 、 $t_2=0.374\mu\text{m}$ の時である。

このような稠密周期構造の部分の屈折率は、(2)(3)式から分かるように、基板の屈折率よりも低くなっているため、反射防止膜としての効果がある。溝断面が矩形状でない場合の方がこの効果が顕著であることが知られている。

5. ホログラム素子としての応用¹⁰⁻¹²⁾

5.1 検光子としての使用

本偏光子で位相差が π で透過率が0の時はすべての光が回折しており、その時の ± 1 次回折効率はおおの $(2/\pi)^2=(40.53\%)$ である。したがって、 ± 1 次回折光の和と0次回折光の両方を用いることにより、光磁気ディスクヘッドの信号差動検出用の検光子として使用できる。光磁気ディスクの記録信号の差動検出法では、ディスクからの戻り光の偏光面を半波長板で回転して検光子に入射させ、直交する偏光をもつ2つの光に分離す

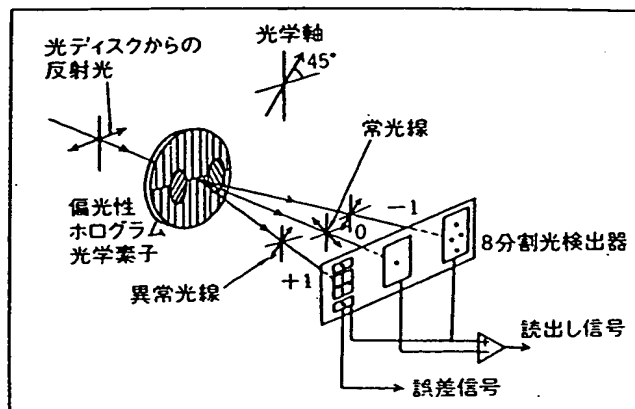


図11 検光子機能をもつホログラム光学素子

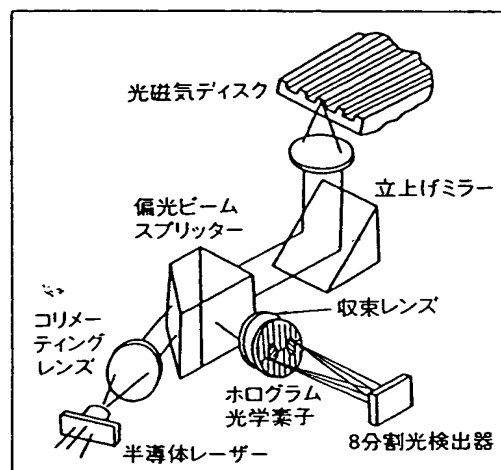


図12 ホログラム光学素子を用いた光磁気ディスク用光ヘッドの構成

る構成がとられる。そこで、図11に示すように、本偏光子に差動検出用の検光子機能をもたせるために光学軸を入射偏光に対してほぼ 45° 傾けるように設計した。すなわち、素子に入射した光のうち光学軸方向の偏光成分は回折され、それに直交する偏光成分は回折されない。記録信号は ± 1 次回折光の和と0次回折光の差より検出する。

5.2 ホログラム光ヘッドの動作原理

本検光子の格子パターンを、単純格子ではなくホログラム化することで光ヘッドに必要な他の光学機能をも複合した。すなわち、図11に示すように本検光子は4つのホログラムから成るホログラム光学素子である。おのおののホログラムには8分割光検出器の中心の光検出素子に収束する球面波と、8分割光検出器の6分割光検出素子上の4

特集：最近のユニークな光学素子

点に収束する球面波の干渉縞がそれぞれ形成されている。図12に本ホログラム素子を用いた光磁気ディスク用光ヘッドの構成を示す。光ディスクからの戻り光はPBSで反射されレンズで収束球面波に変換されてホログラム素子に入射する。焦点誤差信号とトラック誤差信号はホログラム素子からの4つの1次回折光と6分割光検出素子を用いておのおのダブルナイフエッジ法と、ブッシュブル法で検出される。

5.3 試作結果

ホログラム光学素子はX板LiNbO₃にプロトン交換法で製作した。上記3の(1)で述べた位相調整用の誘電体層としてはフォトレジストを用いた。素子外形はφ6mm、平均格子ピッチは約50μm、回折角は約1°である。消光比として約-15dBが得られた。この値は光ヘッド用に実用するに十分な値である。本ホログラム素子を用いた光磁気ディスク用光ヘッドのR/W特性について、5.25"ディスク最外周(線速11.3m/s)での1MHzの幅記録で、54.7dB、最内周(線速5.7m/s)での3.7MHzのパルス記録で46.9dBのC/N比が得られている。この値はいずれも実用に十分な値である。

以上述べたいずれの素子も、リソグラフィ手法を用いて多数の素子を一度に製作できる特長があり、量産性にとんでいる。

6. おわりに

著者らの提案した、小形で量産性の良い複屈折回折格子形の偏光素子について動作原理、試作結果について述べた。LiNbO₃に試作した素子では光アイソレータ用に十分な高い消光比が得られた。さらに、構造複屈折を利用した素子構成と設計例のほかに、本素子のホログラム化による機能複合素子への発展と、その光ディスクヘッド用素子としての応用についても述べた。

最後に、本素子の開発は太田義徳氏とのディスカッションから始まったものであることを付記し、同氏ならびに実際に開発に携わった賈野豊、大場昭知の両氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 西田信夫, 小野雄三:「ホログラムスキヤナを用いたバーコードリーダ」, O plus E, No. 17, 77(1981)
- 2) 小野雄三, 木村靖夫:「ホログラム光学素子を用いたCD用光ヘッド」, O plus E, No. 105, 80 (1988)
- 3) 賈野 豊, 西本 裕, 太田義徳:「複屈折回折格子型偏光子」, 63年春季応用物理学会, 29a-ZH-10, 3-846 (1988)
- 4) 賈野 豊, 西本 裕, 太田義徳:「複屈折回折格子型偏光子を用いた光アイソレータ」, 63年電子情報通信学会春季全国大会, C-431, 1-136 (1988)
- 5) Y. Urino, H. Nishimoto and Y. Ohta: "Birefringent grating polarizer", Tech. Digest of 2nd Optoelectronics Conference, 3C2-1, 167 (1988)
- 6) 賈野 豊, 西本 裕, 太田義徳:「高消光比化・低損失・薄型複屈折回折格子型偏光子」, 1989年電子情報通信学会春季全国大会, C-549, 4-338 (1989)
- 7) A. Sutcliffe, Y. Kimura and Y. Ono: "Grating polarizer using form birefringence in Silicon", Tech. Digest of MOC/GRIN '89, G7, 164 (1989)
- 8) M. Born and E. Wolf: Principles of Optics, Chap. 14 (Pergamon, Oxford, 1970)
- 9) Y. Ono, Y. Kimura, Y. Ohta and N. Nishida: "Antireflection effect in ultrahigh spatial-frequency holographic relief gratings", Appl. Opt. 26, 6 (1987)
- 10) 大場昭知, 木村靖夫, 賈野 豊, 小野雄三:「光磁気ディスクヘッド用検光子機能付きホログラム光学素子」, '89年秋季応用物理学会, 30a-PB-3, 3-972 (1989).
- 11) 小野雄三, 大場昭知, 賈野 豊, 木村靖夫, 太田義徳:「複屈折回折格子を用いた偏光素子」, MICROOPTICS NEWS, 7, No. 3, 30 (1989)
- 12) A. Ohba, Y. Kimura, S. Sugama, Y. Urino and Y. Ono: "Holographic optical element with analyzer function for magneto-optical disk head", Jpn. J. Appl. Phys. 28 Supplement 28-3, 359 (1989)
- 13) A. Ohba, S. Sugama, R. Katayama, Y. Urino and Y. Ono: "Compact magneto-optical disk head using a holographic optical element with analyzer function", Proc. SPIE 1316, 159 (1990)